

ミリ波無線 ATM LAN システム —ミリ波帯広帯域無線アクセスネットワークの構築に向けて—

鰐 剛 長谷 良裕 井上 真杉

郵政省通信総合研究所 横須賀無線通信研究センター

〒184 東京都小金井市貫井北町4丁目2番1号

Tel: 0423-27-7490 Fax: 0423-27-6953 E-mail: g-wu@crl.go.jp

あらまし: 本格的な無線マルチメディア情報伝送を実現するために、マイクロ波帯やミリ波帯での広帯域無線伝送技術に関する研究開発が盛んになってきており、有線網との融合性を考えた無線 ATM も新たなコンセプトとして提案されている。本稿では、ミリ波帯広帯域無線アクセスネットワーク (BRAIN) の構内系システムとして位置付けている高速無線 LAN を対象とし、無線 ATM を実現するための無線アクセス部分の構成を中心に検討を行なう。具体的には、まず無線 MAC プロトコルとして提案する RS-ISMA 方式を説明する。続いて、ポーリングベースの RS-ISMA において、ポーリング周期や送信フレーム長を適宜変えることによって ATM のサービスカテゴリである CRB / VBR / ABR / UBR をサポートする方法を述べる。また、QoS に対応した誤り制御が可能であることも示す。

和文キーワード: 無線 ATM、高速無線 LAN、マルチメディア統合伝送、MAC 方式、ミリ波通信

Broadband Radio Access Integrated Network (BRAIN) in MM-Wave Band — Radio Access Protocol

Gang WU, Yoshihiro HASE, and Masugi INOUE

Communication Research Laboratory, MPT

4-2-1, Nukui-Kita, Koganei-shi, Tokyo 184, JAPAN

Tel: +81-423-27-7490 Fax: +81-423-27-6953 E-mail: g-wu@crl.go.jp

Abstract: Developments in new frequency bands for wireless communications make it possible to provide a broadband channel for new services. The concept of BRAIN (Broadband Radio Access Integrated Network in mm-wave band) comes about due to recent R&D activities on mm-wave communications. In order to implement integrated multimedia transmissions in a wireless environment without losing the compatibility with wired networks, the concept of wireless ATM (WATM) is proposed. Compared with wired ATM, wireless access and mobility management are two major topics for implementation of WATM. In this paper, we focus on the topic of wireless access and propose an integrated multimedia transmission protocol, which is based on the MAC protocol RS-ISMA (slotted idle signal multiple access with reservation), to support CBR, VBR, ABR and UBR service categories as well as to provide immediate retransmissions.

英文 Key Words: wireless ATM, high-speed wireless LAN, MAC protocol, integrated multimedia transmissions, mm-wave communications

1 まえがき

無線システムの普及に伴って貴重な周波数資源の枯渇が深刻化してきている。それを受けて、マイクロ波帯やミリ波帯といった新たな周波数帯を利用するための無線通信技術の開発が望まれている。これには、無線通信の急激な需要増加に対処するという側面のみならず、従来にはない高速伝送を実現することによって新たなサービスを提供し得るという側面があることも忘れてはならないだろう。

ミリ波帯広帯域無線アクセスネットワーク (BRAIN: Broadband Radio Access Integrated Network in mm-wave band) とは、屋外においてはFTTC(fiber to the curve)から加入者までのラストホップをミリ波で結ぶ加入者系高速無線アクセス、そして屋内においてはミリ波による高速無線LANにより提供される、統合的な広帯域無線アクセスネットワークである。その実現に向けて、光・ミリ波融合通信ネットワークや経済性を考慮したミリ波通信装置などの開発が期待される。同時に、このようなシステムによって本格的なマルチメディア情報伝送を行なうための技術についても、その実現が期待されている。本稿は、ミリ波帯広帯域無線アクセスネットワーク BRAIN を実現するためのファーストステップとして、ミリ波高速無線LANを対象にしたマルチメディア情報の統合伝送について検討するものである。

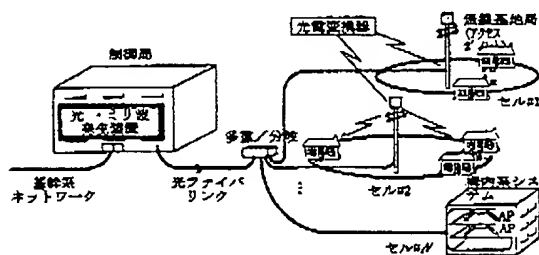


図1: ミリ波帯広帯域無線アクセスネットワーク (BRAIN) のシステムイメージ

無線マルチメディア統合伝送を実現するには、新たなシステムアーキテクチャが必要となる。例えば、B-ISDN (broadband integrated services digital network: 広帯域サービス統合ディジタル網) のために標準化されたATM (asynchronous transfer mode: 非同同期転送モード) を無線通信ネットワークへ導入することが考えられる。これにより、無線ネットワークにおいてもQoS (quality of service: サービス品質) を保障した上でマルチメディア情報を統合伝送することが可能となり、無線と有線を融合したシームレスなパーソナル通信の実現に近付くことができる。

無線ATMの研究は、1994年にそのコンセプトが提案されて [4] 以来、無線通信分野で最も注目されている研究課題の一つである。米国では、NEC アメリカ C&C 研究所、ルーセントテクノロジー・ベル研究所などの研究機関がマイクロ波帯において無線ATM技術を適用した無線LANの

プロトタイプを開発している [4][5][6]。欧州では、ACTS プロジェクトに無線ATMの研究が取り込まれ、MAGIC や SAMBA などの実験システムの開発を進められている [7]。日本でも、NTT ワイヤレスシステム研究所はATM ワイヤレスアクセス (AWA) を提案し、実験システムを開発中である [8]。1996年6月、産業界のATM標準を制定しているATM Forum [9] は、無線ATMワーキンググループ (WATM WG) を設立し、早急な標準化への動きも見せている。

本論文では、無線ATMの主要研究テーマの一つである無線アクセスに注目し、BRAINの構内系システムであるミリ波高速無線LAN構成をターゲットに研究を行う。以下2.では、ネットワーク構成及びシステムに適用する無線ATMアーキテクチャについて説明する。3.では、システムアーキテクチャに求められるMAC (media access control: 媒体アクセス制御) 層のプロトコルRS-ISMA (slotted idle signal multiple access with reservation: スロット付予約アイドル信号多元接続) 方式を提案するとともに、データリンク層の無線回線制御や誤り制御方式についても提案する。4.では、理論解析およびシミュレーションによるシステムの性能評価を行う。

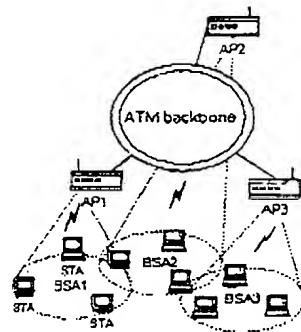


図2: ミリ波帯における無線LANの構成。

2 システム概要

2.1 集中型全二重無線LAN

ATMバックボーンへの接続を可能とするミリ波帯広帯域無線アクセスネットワーク (BRAIN) のシステムイメージを図2に示す。システムが提供するエリア全体を、小さなBSA (basic service area: 基本サービスエリア) に分割することでサービスを行う。BSAは1つのAP (access point: アクセスポイント) および複数の半固定STA (station: 端末) から構成され、送信電力や周囲の環境によって影響を受けるが、サービス可能な範囲は、おおむね半径数百メートル程度

¹欧州ではETSIのBRAN、日本ではARIBのMMACがATM Forum WATM WGと連携して標準化作業を進めている。

百メートル程度が想定される。そこで、本稿では BRAIN の構内系システムである高速無線 LAN を考える。

STA は音声、データ、動画像を含めたマルチメディア情報源に接続する通信端末であり、BSA 内外の他の STA との情報交換を行うことができる。ミリ波通信では、通常 STA は指向性が鋭いアンテナを用いるため、BSA 内の通信が AP を介した集中制御により行われる。AP は STA への無線媒体インタフェースと、バックボーンへの ATM インタフェースを持っており、BSA 内におけるトラフィックを管理・制御しながら、STA 同士の通信を中継する。

本システムでは、FDD(frequency division duplex: 周波数分割多重)により全二重の高速通信を実現している。具体的には、定常的にビットストリームが存在する下り回線 (AP → STA) では TDM (time division multiplex: 時分割多重) ベースの回線構成をとる一方、複数の STA からのパケットがバースト的に伝送される上り回線 (STA → AP) では TDMA (time division multiple access: 時分割多元接続) ベースの回線構成をとる。

2.2 無線 ATM アーキテクチャ

2.2.1 ATM によるマルチメディア情報伝送

マルチメディアの定義は様々だが、通信の立場から見ると、その主な特徴は以下の2つにまとめられる。すなわち、マルチメディア情報源から発生するトラフィックは多様な特性を有することと、各情報源が要求する QoS レベルがそれぞれ異なることである。このようなマルチメディア情報を伝送するために、ATM では5つのサービスカテゴリ、すなわち CBR(constant bit rate)、rt-VBR (real-time variable bit rate)、nrt-VBR (non-real-time variable bit rate)、ABR (available bit rate)、UBR(unspecified bit rate) を用意することが ATM Forum において標準化されている。実際に伝送する際には、発生するトラフィックの特性や所望する QoS に応じてサービスカテゴリを適宜選択することになる。マルチメディア情報源を即時 (音声・動画像等)、時間制限付 (ファイル転送・ファックス等)、非即時 (電子メール等) の3種類に分類した場合に、選択可能なサービスカテゴリと要求 QoS を表1に例として示す。

表1: 3種類の情報源およびそれらの特徴

情報源種類	QoS 要求		サービスカテゴリ
	遅延	パケット損	
即時	厳	中 or 緩	CBR/VBR
時間制限付	緩 or 中	緩 or 中	CBR/VBR/ABR
非即時	緩	厳	ABR/UBR

2.2.2 無線 ATM 参照モデル

ATM バックボーンネットワークへのシームレスな無線アクセスを可能とするためには、無線 ATM を構築する上で直面するモビリティ管理と無線アクセスの二大課題を解決す

る必要がある [10]。ミリ波帯での移動通信は当面は実現困難であるため、本システムでは STA のモビリティについては考慮していないが、一方の無線アクセスに関わる共有チャネルの接続制御、誤り制御等の問題を解決する必要がある。図3に無線 ATM プロトコル参照モデルを示す。ATM 層以上は有線 ATM のプロトコル構成に基本的に従う。本稿では、無線通信に関わる無線物理層、無線 MAC 層およびデータリンクコントロール層に着目する。

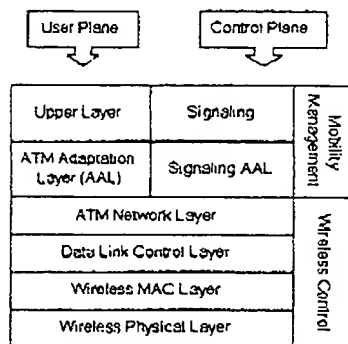


図3: 無線 ATM プロトコルモデル

無線物理層では、高速・高品質の伝送技術を用い、パケット通信に対応できる通信装置により構成される。続いて、有限の周波数帯域を複数の STA が共有して効率良く使用するために、無線 MAC 層を必要とする。更に、無線伝送路では、様々な雑音・干渉・マルチパス・シャドウイング等の影響によって深刻な誤りが発生するため、無線区間の ATM セルを ATM 層に渡す前に誤り制御を行うデータリンクコントロール層を必要とする。最後に、物理、MAC、データリンクコントロールの各層にわたって無線リソースを制御・管理する無線回線制御プロトコルを必要とする。次節では、MAC 方式、誤り制御方式、無線回線制御方式を含めた統合伝送プロトコルを提案する。

3 統合伝送プロトコル

3.1 MAC 方式

本稿では、全二重高速無線 LAN に適した MAC 方式として RS-ISMA (Slotted Idle Signal Multiple Access with Reservation) プロトコルを提案する。R-ISMA [11] と S-ISMA [12] をベースとした RS-ISMA 方式は、予約段階ではランダムアクセス方式、それに続く情報伝送段階ではポーリング方式に基づいて上り無線回線を利用する方式である。筆者らが従来から行ってきた R-ISMA に関する一連の研究 [13][14][15][16] によれば、本方式は音声・データ・動画像の統合伝送に有効であり、また誤り制御方式との調和性に富んでいることが明らかになっている。以下では、まず、MAC 層のフレーム構造、スロット構成、および制御信号の定義

を述べ、続いて RS-ISMA 方式の核となる予約およびデータ伝送の通信手順を説明する。

3.1.1 フレーム構造と種類

MAC フレームはフレームヘッダとフレーム本体とから構成される (図 4) [17]。フレームヘッダは、フレーム種類などを示す制御部、相手先 STA/自 STA/ AP のアドレスを格納するアドレス部、フレームのシーケンス番号や短い情報などを格納するメッセージ部、ヘッダの誤り検出に用いる CRC (cyclic redundancy check: 巡回冗長検査) 符号部からなる。フレーム本体には、フレームのカプセル化構造によって、上位層の PDU (protocol data unit: プロトコルデータユニット) がペイロードとして入っている。上位層が ATM 層の場合、フレーム本体は複数個の ATM セルと CRC 符号とから構成される。

本システムでは、2 種類の MAC フレーム、すなわち、CMF (control and management frame: 制御・管理フレーム) と DF (data frame: データフレーム) を使用する。CMF は無線区間のパケット伝送の制御機能および管理機能を司るフレームであり、フレームヘッダのみから構成される。一方、DF は上位層 PDU の伝送に使用され、フレームヘッダとフレーム本体とから構成される。従って、CMF は短い固定長フレームとなり、DF はフレーム本体に入っている ATM セルの数によって可変長のフレームとなる。

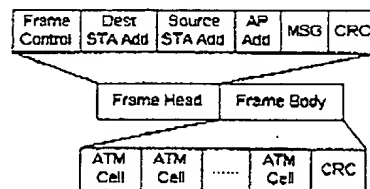


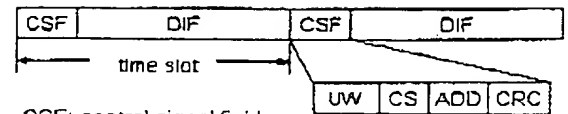
図 4: MAC フレーム構造。

3.1.2 スロット構成

下り回線は図 5 に示すようにタイムスロット化して使用する。タイムスロットは固定長であり、CSF (control signal field: 制御信号フィールド) と DIF (downstream information field: 下り情報フィールド) の 2 つの領域からなる。DIF においては、下りの情報ビットストリームが伝送される。一方、CSF では、ユニークワード、制御信号 (次節で定義)、アドレス、そして CRC 符号が伝送される。スロット長は主に上下 2 回線の利用効率を考慮して定められるべきであるが [12]、システムを容易に実現するために、ここでは 1 タイムスロット間に 1 つの CMF が伝送できるように設計する。

3.1.3 制御信号

RS-ISMA 方式では、AP は下りの CSF に制御信号を送信することにより、上り回線の伝送制御を行う。STA は、



CSF: control signal field
DIF: downstream information field
UW: unique word
CS: control signal
ADD: address
CRC: cyclic redundancy check

図 5: 下り回線でのタイムスロット構成。

受信した制御信号の内容に応じて送信開始、送信継続、送信中止等の制御を行う。各制御信号を次に説明する。

- IDLE (アイドル): 上り回線で送信が行われていない状態を示し、CMF を送信しようとする任意の STA に対してランダムアクセスによる送信を許可する信号。CSF のアドレス部は機能しない。
- POLL (ポーリング): 指定した STA に DF の送信を要求する信号。STA のアドレスは CSF のアドレス部で指定する。POLL には周期的ポーリング、非周期的ポーリング、再送用ポーリングの 3 種類がある。
- ACKR (応答要求): 下り回線で伝送された DF を受信した STA に対して、その応答フレームを上り回線で返すよう要求するため信号。STA のアドレスは CSF のアドレス部で指定する。
- BUSY (ビジー): 上り回線で送信が行われている状態を示す信号。CSF のアドレス部は機能しない。
- CONT (継続): 非周期的ポーリング (次節で定義) で STA に DF の連続送信を許可する信号。STA のアドレスは CSF のアドレス部で指定する。
- STOP (中止): 送信中の STA に送信を直ちに中止させる信号。STA のアドレスは CSF のアドレス部で指定する。

3.1.4 予約手順

RS-ISMA では、上り回線にてデータフレーム (DF) の伝送を行なうために、送信タイミングを予約しなければならない。そのために、DF の送信に先立って、CMF の一種である RP (reservation packet: 予約パケット) を上り回線で送信する。図 6 のタイムチャートに基づいて説明する。AP は、上り回線がアイドルでなおかつ既に DF 送信状態に入っている STA に対してポーリングを行わない場合に限り、IDLE 制御信号を CSF にて周期的に放送する。DF の伝送を開始しようとしている STA は、IDLE を受信したあとに上り回線に RP を送信する。RP がエラーなしに AP で受信されると、AP は下り回線で送信中のフレームを終了し次第、CMF

の一種である ACK フレーム (acknowledgment : 応答) を返送する。自分宛の ACK フレームを受信した STA は、次節に示す送信手順によって DF 送信を行う。

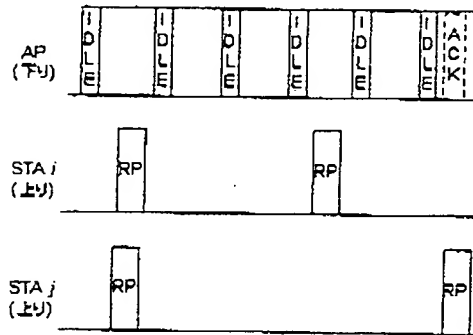


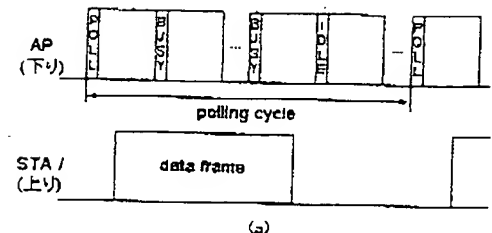
図 6: 予約タイムチャート。

一方、RP を送信したものの一定時間内に ACK を受信できなければ、STA は RP の送信に失敗したものと判断する。AP 側が RP を正しく受信できない原因としては、複数の STA が同一の IDLE 制御信号に同期して RP を送信したことによる RP 同士の衝突や、無線伝送路状態の悪化に起因する伝送エラーがある。RP の送信に失敗したと判断した場合には、STA は確率に基づく再送制御を実施する。すなわち、次の IDLE を受信した後に、確率 p で RP を再送信するか、あるいは確率 $(1-p)$ で RP を送信しないことにする。この手順を RP が正しく受信されるまで繰り返す。

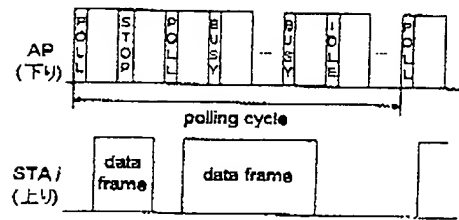
3.1.5 DF 送信手順

予約成功の後、STA は AP のポーリングに基づいて DF の送信を制御する。ここでいうポーリングは、ポーリング信号を周期的に発生するか非周期的に発生するかの違いによって、周期的ポーリングと非周期的ポーリングとに分けられる。いずれのポーリングも、AP に設けられているポーリングスケジューラにより管理される。ポーリングスケジューラには、予約に成功した各 STA のポーリング周期、優先順位、次のポーリング時刻などの情報が書き込まれている。これらの情報には、STA が予約を行った時に RP 中に書き込んでおいたものと、ポーリングの進行に伴って更新されるものがある。以下では、周期的ポーリングと非周期的ポーリングとについて説明する。

周期的ポーリング方式 (図 7) では、AP はポーリングスケジューラが発するポーリング要求に基づいて、POLL 信号および STA アドレスを CSF に入れて送信し、STA に DF の送信を求める。自分宛の POLL 信号を受信した STA は、直ちに DF を送信する。DF のフレームヘッダには、フレーム本体に格納した ATM セル数に関する情報が含まれている。ただし、送信バッファに DF がない場合は、コネクションを維持するために、フレーム本体なしのヌルフレーム (CMF の一種) を送信する必要がある。そして AP は誤り無



(a)



(b)

図 7: 周期的ポーリング方式による DF 送信。(a) フレームヘッダが検出された場合。(b) フレームヘッダが検出されなかった場合。

くフレームヘッダを受信すると、下り回線の次の CSF において BUSY を送信することにより、上り回線が現在送信中の STA によって占有されていることを示す。もし誤りを検出した場合、次のスロットの CSF にて STOP を送信することによって、現在送信中の STA に送信を中断させる。こうしたポーリング方式によって、DF を効率的に伝送することができる。1 回のポーリングを終えると、AP は所定のポーリング周期に基づいて次のポーリング時刻を計算し、スケジューラを更新する。

周期的ポーリングにおいては、2 つ以上の STA のポーリング時刻が重なってしまう場合がある。その際には、あらかじめ決めておいた優先度に基づいて順番を決定する。同一の優先度の場合はベストエフォートによって行われる。

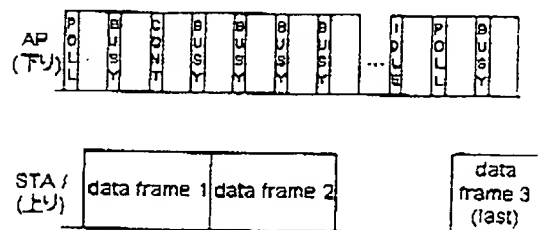


図 8: 非周期的ポーリング方式による DF 送信。

非周期的ポーリング方式では、既に送信バッファに蓄積された複数の ATM セルを数個の固定長 DF に分けて送信を行う。図 8 に非周期的ポーリング方式を示す。AP は周期

的ポーリングに基づく DF 送信の間に、非周期的ポーリングを行う。すなわち、非周期的ポーリングの優先順位は周期的ポーリングより低い。まず STA は POLL 信号を受信すると直ちに DF を送信する。この時、フレームヘッダには、フレーム長に関する情報と、このフレームが最後のフレームかどうかを示す情報とを含める。もし現在の DF が最後のフレームではなく、この DF を AP が受信した後に周期的ポーリングが予定されていない場合には、AP は下り回線の CSF にて CONT 信号を送信することによって、現在送信中の STA に対して連続してもう 1 つの DF を送信するように促す。また、BUSY 信号と STOP 信号の送信に関しては、周期的ポーリングと同様とする。

3.2 ATM サービスカテゴリへの対応方法

ATM フォーラムでは、前に述べたように、CBR、rt-VBR、nrt-VBR、ABR、および UBR の 5 つのサービスカテゴリが定義されている。トラヒックパラメータとしては PCR (peak cell rate: ピークセルレート)、CDVT (cell delay variation tolerance: セル遅延揺らぎ)、SCR (sustainable cell rate: 継続セルレート)、BT (burst tolerance: バースト許容値)、MCR (minimum cell rate: 最小セル速度) などがあり、さらに QoS パラメータとしては Max & Mean CTD (cell transfer delay: 最大または平均セル転送遅延)、CDV (peak-to-peak cell delay variation: ピーク間のセル遅延揺らぎ)、CLR (cell loss rate: セルロスレート) などが挙げられる。各サービスカテゴリは、いま述べたパラメータの組み合わせにより定義される。実際に ATM 伝送を行なう際には、各パラメータの値に関して端末側とネットワーク側との間で交渉を行ない、トラヒック契約(トラヒックコントラクト)を結ぶ。伝送中は、結ばれた契約内容が遵守され、所望の QoS が確保された通信が可能となる。

このような有線 ATM 伝送方式を無線でサポートするに当たっては、様々な問題を解決しなければならない。例えば、上記のような ATM 特有の QoS を確保した通信を無線で可能とするには、トラヒック契約時にやり取りされる ATM 層レベルの QoS パラメータを、データリンク制御層、無線 MAC 層、および無線物理層の各層における QoS パラメータに階層的にマッピングできなければならない。このように、現時点では有線 ATM を無線へ完全に適用することは困難である。そこで、本節では、RS-ISMA の周期的ポーリングと非周期的ポーリングの特徴を生かして、ATM の各サービスカテゴリに対応する方法に着目し、方法論レベルでの検討を行う。具体的なパラメータに関する詳細な議論は今後の課題としておく。

表 2 にはサービスカテゴリと対応するポーリング周期および DF 長との関係を示す。ここで、周期的ポーリング方式を UBR 以外のサービスカテゴリに、非周期的ポーリング方式を UBR に適用することを想定している。

表 2: ATM サービスカテゴリへの対応方法

サービスカテゴリ	ポーリング周期	DF 長
CBR	固定	固定
VBR	固定	可変
ABR	可変	固定
UBR	無	可変

3.2.1 CBR および VBR

CBR はもっとも実現しやすいサービスカテゴリである。図 9(a) に示すように、ATM 層におけるセル発生レートが固定である。これに対して、MAC 層では固定のポーリング周期と DF 長を用いて周期的ポーリングにより通信を行う。ポーリング周期および DF 長は、通信路の誤り率特性、無線区間の伝送効率、および CDV の許容値などを考慮した上で選定される。

一方、VBR の場合は、情報源のトラヒック変動に応じて ATM レベルでのセル発生量が変動する。しかしながら、MAC 層ではこうして発生したセルを随時に伝送することは困難である。幸い RS-ISMA 方式が可変長 DF をサポートしているので、図 9(b) に示すように、固定ポーリング周期を用いながらも、DF 長をトラヒック量に応じて変化させることにより VBR 伝送をサポートすることができる。ポーリング周期の選定については、トラヒック変動を正確に反映させたいのであればできる限り短くする方が良いが、短すぎると逆に伝送効率が悪化する。そのため、平均セル発生レート、CDV の許容値、無線区間の伝送効率なども考慮に入れるべきである。なお、VBR 伝送において、POLL 信号を受信した場合に送信する DF がない場合は、フレーム本体なしのヌルフレームを送信する必要がある。

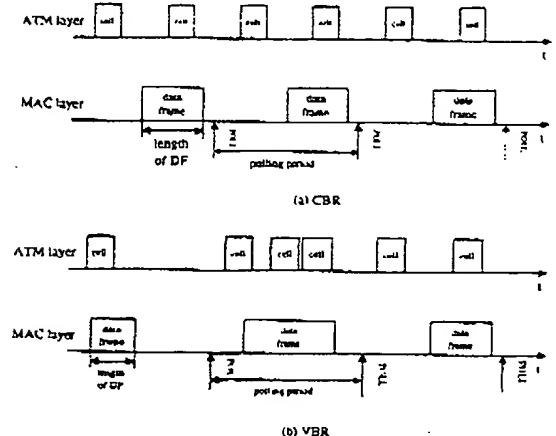


図 9: CBR と VBR 伝送。(a) CBR: (b) VBR

3.2.2 ABR

ABRには、可変ポーリング周期・固定長DFにより対応する。ABRの情報源を持つ特定のSTAは、コネクションセッアップ時に利用可能な未使用帯域に応じて速度を設定する。送信開始後、フィードバック型のRM (resource management: リソース管理) セルを周期的に送信し、ネットワークの負荷状況に合わせて速度を変更可変させていく。STAはフィードバックされてきたRMセルに記入されているネットワークの輻輳情報に基づき、予め設定したパラメータに従ってターゲット速度を計算する。ターゲット速度を求めた後、実際に速度を変更するためにSTAはAPに対してポーリング周期の変更を要求する。APでは他のSTAとのポーリング周期を調整し、新たな割当速度を通知した後、新たなポーリング周期によりSTAに対してポーリングを開始する(図10)。

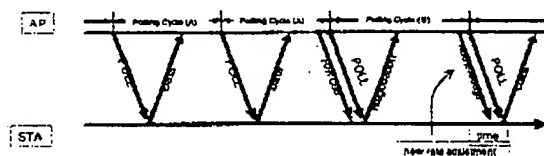


図10: ABR 伝送

3.2.3 UBR

UBRで使用されるパラメータはピークセルレート(PCR)のみである。つまり、指定したPCRを超えなければ、どんなレートでも構わない。他のサービスカテゴリに比べてUBRの優先度のもっとも低いので、非周期的ポーリング方式を適用することを考える。前述のように、非周期的ポーリング方式の優先順位は周期的ポーリング方式のより低く、UBR伝送は周期的ポーリングの隙間に実行される。

3.3 再送方式

無線通信時のビット誤り率は、有線通信時と比べてかなり劣悪であるため、データリンク層での誤り制御が必須である。一般に誤り制御方式は、FEC(forward error correction: フォワード誤り訂正)とARQ(auto-repeat request: 自動再送要求)に分類される。本システムでは、QoSに対応したARQ方式を使用する。まず、即時的情報源の即時性を保つため、再送回数制限付きのSW-ARQ(stop and wait ARQ)を誤り制御方式として用いる。また非即時情報源には、SR-ARQ(selective reject ARQ)を適用する。このような再送方式を採用することによって、情報伝送のQoSに対応できる。具体的な再送手順を次に示す。

まず、上りと下りのいずれの方向においても、伝送したDF(または特定のCMF)が誤りなしに受信されると、ACKが返送される。このACKを受信できなかった場合には、再送が要求されることになる。ここで下り回線の伝送に注目

表3: 制御信号の誤りによる影響

制御信号	STAの対処	次スロット制御信号
IDLE		予定とおり送信
POLL	DFを送信しない	POLLを再送信
BUSY		予定とおり送信
STOP	中止しない	STOPを再送信
CONT	次のDFを送信しない	
ACKR	ACKを送信しない	ACKRを再送信

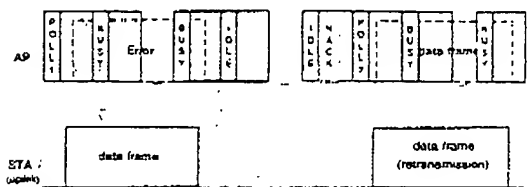


図11: 再送手順

する。制御信号の誤りがシステムに与える影響について表3にまとめてある。下り回線においてDFを送信した後、APはACKRを送信先STAに送信する。STAは、DFの受信に成功している場合にはACKを、また失敗している場合にはNACKをAPへ返送する。APは、STAからACKを受信した場合には、送信したDFを送信バッファより消去する。一方、NACKを受信した場合には、SW-ARQ方式による再送を行なうときは、APは事前に設定したQoSパラメータに従って再送信またはデータの廃棄を選択し、SR-ARQ方式による再送を行なうときには、APは誤ったATMセルのみを再送する。

上り回線の伝送では、STAからのDFを受信した後、APはACKまたはNACKを送信先端末STAに送信する。ACKを受信した場合、STAは次のDFを準備し、バッファにあるDFを消去する。NACKを受信した場合には、APからのPOLL信号を待つ。そして、SW-ARQ方式による再送を行なう場合には、QoSに従ってDFを再送信するかまたはDFを廃棄し(図11)、SR-ARQ方式による再送を行なう場合には、STAは誤ったATMセルのみを再送する。

4 システム性能評価

本節では、本システムの上り回線のチャネル容量を評価する。ここで、解析を簡単にするために、CBR サービスカテゴリのみを対象とし、固定長DFと周期的ポーリングを考える。ポーリング周期 PC_1, PC_2, \dots, PC_n を持つ n 種類の周期的ポーリングによる通信を行う情報源を想定し、各情報源のSTAの数は i_1, i_2, \dots, i_n であるとする。非周期的ポーリング方式におけるSTAの数を無限とすると、新規に接続するトラヒックは、発生レート G とするポアソン過程

により表すことができる。そこで AP が IDLE を送信した後、 k 個の RP が上り回線に到着する確率は次のようになる。

$$p_k = \frac{G^k e^{-G}}{k!} \quad (1)$$

チャネルスループット S はコネクション通信の部分 S_c とコネクションレス通信の部分 S_{nc} の和である。 S_c は

$$S_c = \sum_{j=1}^n \frac{i_j}{PC_j} T_1 \quad (2)$$

となる。ここで T_1 は DF の長さである。

次に、 S_{nc} を導出する。 T_c は 2 つの続いた IDLE の間隔であり、次式で表される。

$$T_c = \tau(p_0 + 1 - p_0 - p_1) \div [T/\tau] \tau p_1 \quad (3)$$

ここで、 τ , T はそれぞれスロット長、DF の送信時間であり、 $[T/\tau]$ は T/τ より大きい最小の整数であり、 p_0 と p_1 は式 (1) から求められる。 $PC_{max} = \max_{1 \leq j \leq n} \{PC_j\}$ とすると、 PC_{max} の間に周期的ポーリングによる DF 送信がかかる時間は $\sum_{j=1}^n \frac{PC_{max}}{PC_j} i_j [T/\tau] \tau$ である。従って、

$$S_{nc} = (1 - \sum_{j=1}^n \frac{i_j \tau}{PC_j} [T/\tau]) \frac{p_1 T_1}{T_c} \quad (4)$$

チャネルスループットは式 (2) と (4) の和として次式で与えられる。

$$S = S_c + S_{nc} \quad (5)$$

チャネル容量は G を変化させたときの S の最大値で決まる。

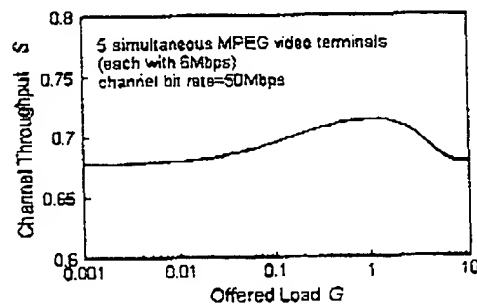


図 12: S-G 特性。

図 12 には以下のシステムパラメータを用いたチャネルスループットの解析例を示す。上り回線の伝送レートは 50 Mbps であり、MPEG 2 の符号化を用いた 6 Mbps の動画像 STA の数は 5 であり、スロット長は $7.8125 \mu s$ であり、1 つの DF に含まれる ATM セルの数は 4 であり、1 つの DF を伝送する所用時間は $35.84 \mu s$ である。図 12 に示された結果から、 $G=1$ の時にチャネルスループットは 0.72 となり、50 Mbps のチャネルに対し 36 Mbps のチャネル容量が得られることが分かった。

ABR 伝送に関する理論解析は難しいので、シミュレーションによる特性評価を行った。図 13 に各 STA の送信速度の時間変化を示す。回線速度は 50 Mbps を想定し、各 STA は 10 ms おきに送信を開始するものとする。低速から送信を始める STA の送信速度増加に伴い、高速で送信している STA の速度が徐々に低下し、合計速度が一定となるように速度調整されているのがわかる。そして、一定の割当速度 (ER) へと収束している。図 14 には ABR の利用帯域が変動した場合の送信速度の時間変化を示す。各 STA は先程と同様、10 ms おきに送信を開始するものとし、帯域変動は時間の経過と共に減少していくモデルを想定する。STA はフィードバックされてきた RM セルの情報を基に利用可能帯域の減少に対して速度調整を行い、AP との速度制御を行うことにより、帯域変動に速度を対応させているのがわかる。

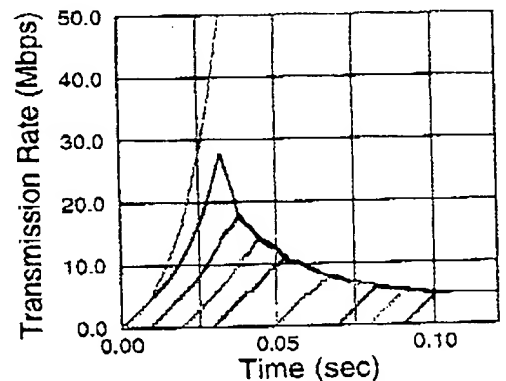


図 13: RS-ISMA による ABR 伝送

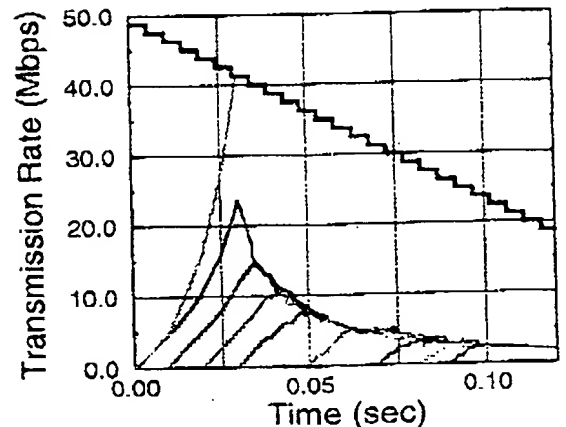


図 14: 帯域変動時の ABR 伝送特性

5 むすび

有線 ATM ネットワークとの互換性を失うことなく、無線環境において統合マルチメディア情報伝送を実現するためには、新たなシステムの構築が必要である。ATM 技術を無線環境に適応する場合には、MAC、誤り制御、モビリティ管理の3つの主な課題を考慮する必要がある。本稿では、まず、一般的な無線 ATM アーキテクチャについて述べた。次に、無線 ATM の MAC プロトコルに焦点を当て、全二重高速無線 LAN を実現するための MAC プロトコルとして RS-ISMA を提案した。RS-ISMA によれば、周期的/非周期的ポーリングモードを適宜使用することによって、ATM で定義されているサービスカテゴリである CBR、VBR、ABR および UBR の伝送が可能である。またポーリングベースのプロトコルであるが故に、ARQ との調和性にも優れていることに触れた。最後に現在開発中である試作システムに関して述べると共に、良好なスループットが得られることを理論解析結果により示した。

【参考文献】

- [1] Y. Hase, K. Taira, G. Wu and H. Harada, "R&D project on broadband mobile communications using microwave band," *Proc. MDMC'96*, pp.158-162, Seoul, July 1996.
- [2] T. Manabe, Y. Miura, and T. Ihara, "Effects of antenna directivity and polarization on indoor multipath propagation characteristics at 60 GHz," *IEEE J. Select. Area Commun.*, pp.441-448, April 1996.
- [3] ATM UNI 4.0 Specifications, ATM Forum, 1996.
- [4] D. Raychaudhuri and N. Wilson, "ATM based transport architecture for multiservices wireless personal communication network," *IEEE J. Select. Area Commun.*, pp.1401-1414, Oct. 1994.
- [5] E. Ayanoglu, K. Y. Eng, and M. J. Karol, "Wireless ATM: limits, challenges, and proposals," *IEEE Person. Commun.*, vol.3, no.4, pp.18-34, Aug. 1996.
- [6] R. Yuan, S. Biswas, and D. Raychaudhuri, "A signaling and control architecture for mobility support in wireless ATM networks," *Proc. ICC'96*, pp. 478-484, Dallas, June 1996.
- [7] The Magic WAND Wireless ATM Demonstrator is available at <http://www.tik.ee.ethz.ch/wand>.
- [8] M. Umehira, M. Nakura, H. Sato, and A. Hashimoto, "ATM wireless access for multimedia: concept and architecture," *IEEE Person. Commun.*, vol.3, no.5, pp.39-47, Oct. 1996.
- [9] The ATM Forum Homepage is available at <http://www.atmforum.com/>
- [10] An introduction to wireless ATM: concepts and challenges, Wireless ATM WG, ATM Forum, 1996.
- [11] G. Wu, K. Mukumoto and A. Fukuda, "Performance evaluation of reserved idle signal multiple-access scheme for wireless communication networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.43, no.3, pp.653-658, Aug. 1994.
- [12] G. Wu, K. Mukumoto and A. Fukuda, "Slotted idle signal multiple access scheme for two-way centralized wireless communication networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43 no.2, pp.345-352, May 1994.
- [13] G. Wu, K. Taira, H. Harada, M. Mizuno, K. Mukumoto, and A. Fukuda, "An R-ISMA integrated voice/data wireless information system with different packet generation rates," *Proc. ICC'96*, pp.1263-1269, Dallas, USA, June 1996.
- [14] G. Wu, M. Mizuno, K. Taira, K. Mukumoto and A. Fukuda, "A mixed channel access and hybrid ARQ method for wireless communication networks," *Proc. IEEE ICUPC'95*, pp.707-712, Tokyo, Nov. 1995.
- [15] F. Watanabe, G. Wu and H. Sasaoka, "Integrated wireless systems using reserved idle signal multiple access with collision resolution," *IEICE Trans. Fund.*, vol.E80A, no.7, pp.1263-1271, July 1997.
- [16] G. Wu, T. Okazaki and Y. Hase, "Performance analysis of a hybrid wireless LAN using R-ISMA," *IEICE Trans. Fund.*, vol.E80A, no.7, pp.1272-1280, July 1997.
- [17] IEEE P802.11 D3, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications," Piscataway, NJ: IEEE Standards Dept., Jan. 1996.
- [18] 田附, 郭, 井上, 長谷, "RS-ISMA における ABR 無線伝送方式の検討," 1997 年信学全国大会, pp.B-5-188, 1997 年 9 月.